

УДК 621

**Ю.Ю. Богачев, М.Г. Бабенко**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
г. Саратов, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА И ПРАВЯЩЕГО АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Одной из главных проблем современного машиностроения является проблема повышения надежности и долговечности машин и механизмов. Ее решение в значительной степени зависит от улучшения качественных и эксплуатационных характеристик деталей. В технологии машиностроения имеются большие резервы улучшения эксплуатационных свойств деталей машин за счет микрорельефа рабочих поверхностей.

Используемые в настоящее время способы получения регулярного микрорельефа требуют введения дополнительных операций, для выполнения которых необходимо специальное оборудование, что увеличивает себестоимость и повышает трудоемкость изготовления деталей. Возникает необходимость разработки и исследования такой технологии изготовления деталей подшипников, которая предусматривает формирование регулярного микрорельефа обрабатываемых поверхностей на традиционных финишных операциях шлифования и абразивной доводки.

Свойства абразивного круга влияют на его работоспособность. Зернистость абразива, концентрация зерен и диаметр круга определяют число зерен, располагающихся на элементарных режущих контурах, а это влияет соответствующим образом на параметры и стабильность регулярного микрорельефа шлифованной поверхности.

**Ключевые слова:** правка шлифовального круга, подшипник, дорожка качения, инструмент, стойкость инструмента, регулярный микрорельеф.

**Y.Y. Bogachev, M.G. Babenko**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

## **STUDY OF THE RESISTANCE OF THE WORKING SURFACE OF THE GRINDING WHEEL AND DRESSING DIAMOND TOOL**

One of the main problems of modern engineering is the problem of improving the reliability and durability of machines and mechanisms. The solution to this problem largely depends on improving the quality and performance characteristics of parts. In engineering technology has great potential for improving the performance properties of machine parts due to the microrelief on the working surfaces.

Currently used methods of obtaining relief relief provide for the introduction of additional operations, the performance of which requires special equipment that increases the cost and increases the complexity of manufacturing. There is a need for research and development of such technologies for the

manufacture of bearing parts, which involves the formation of a regular microrelief machined surfaces on traditional finishing operations of grinding and abrasive finishing.

The properties of the abrasive wheel affect its performance. The grain size of the abrasive, the concentration of the grains and the diameter of the circle determine the number of grains, which are located on the elementary cutting contours, and it affects appropriately on the parameters and the stability of regular microrelief polished surface.

**Keywords:** grinding wheel, bearing, track roller, tool, tool life, regular microrelief.

В процессе работы шлифовального круга абразивные зерна изнашиваются и теряют режущую способность, а круг засаливается продуктами обработки. При правке алмазным инструментом происходит интенсивное удаление целых зерен и дробление абразивного материала и связки шлифовального круга. Для восстановления режущих свойств и геометрической формы производится периодическая правка круга. Наиболее качественная правка достигается с помощью алмазного инструмента. Наиболее широко в этих целях применяются алмазно-металлические карандаши, алмазные зерна в оправках, алмазные пластины и ролики [1–3].

Какие бы ни были у абразивного круга начальные характеристики, конечный результат шлифования, в частности параметры регулярного микрорельефа шлифовальной поверхности, зависит от состояния микрорельефа рабочей поверхности круга. Свойства абразивного круга влияют на его работоспособность. Зернистость абразива, концентрация зерен и диаметр круга определяют число зерен, располагающихся на элементарных режущих контурах, а это влияет соответствующим образом на параметры и стабильность регулярного микрорельефа шлифованной поверхности [4, 5].

В результате истирания на зернах образуются плоские вершины, что ухудшает режущую способность зерен и увеличивает силу трения между зерном и обрабатываемой поверхностью. Эти обстоятельства приводят к быстрому возрастанию усилий шлифования, увеличению температуры в зоне резания, и как следствие, происходит резкое снижение режущей способности шлифовального круга. Из-за разрушения ослабленных участков эффективного режущего контура на границах соединения элементарных профилей происходит увеличение нестability микрорельефа шлифуемой поверхности [6, 7].

Такой шлифовальный круг необходимо править, восстанавливая на его периферии первоначальное состояние. Период стойкости режущего контура шлифовального круга определяется промежутком време-

ни непрерывной работы между двумя правками или количеством обработанных заготовок после одной правки.

Критерием стойкости режущего контура при обработке деталей с регулярным микрорельефом выбраны параметры  $Ra$  и  $\sigma_{Ra}$ . Продолжительность сохранения заданного правкой микрорельефа рабочей поверхности круга при различных условиях работы значительно отличается, и при проведении экспериментов ее затруднительно определить заранее.

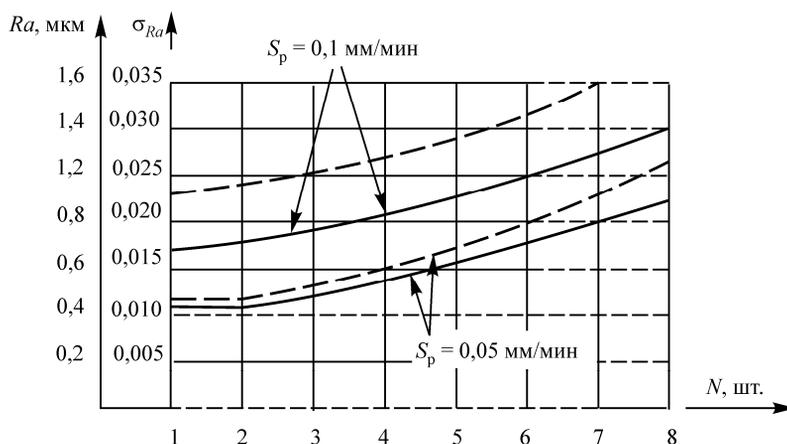


Рис. 1. Экспериментальные зависимости параметров  $Ra$  и  $\sigma_{Ra}$  регулярного микрорельефа шлифованной поверхности от числа обработанных заготовок  $N$  и времени шлифования

Стойкость режущего контура при различных условиях шлифования неодинакова. С увеличением радиальной подачи  $S_p$  при правке стойкость режущего инструмента уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением  $S_p$  возрастает нагрузка, приходящаяся на каждое абразивное зерно, вследствие этого абразивные зерна в большей степени изнашиваются, чаще вырываются из связки и дробятся, поэтому и стойкость режущего контура меньше.

Важным фактором, определяющим геометрическую форму режущего контура, а следовательно, и его стойкость, является форма рабочей части правящего алмаза. Несмотря на то что алмаз обладает очень высокой твердостью и износостойкостью по сравнению с абразивными зернами, в процессе эксплуатации он также изнашивается, изменяется радиус при вершине.

Радиусы закругления алмазных зерен  $p_a$  измерялись до начала правки и после каждых 20 проходов. Осевой износ определялся по расстоянию от вершин алмаза до базовой риски. Положение правящего карандаша в оправке строго фиксировалось.

Из рис. 2 видно, что после 160 проходов величина  $p_a$  увеличивается от 0,4 до 0,9 мм, а величина осевого износа  $\Delta L = 0,08$  мм. Наибольшие изменения  $\Delta L$  и  $p_a$  приходятся на первые 60 проходов, когда относительно острое алмазное зерно ( $p_a = 0,4$  мм) прирабатывалось. Затем износ алмаза стабилизировался, и за 480 проходов величина радиуса алмаза приблизилась к 1,4 мм, при которой, как показали эксперименты, сложно получать регулярный микрорельеф шлифованной поверхности. В этом случае алмазный карандаш перетачивается и начинает работать следующее алмазное зерно [8–10].

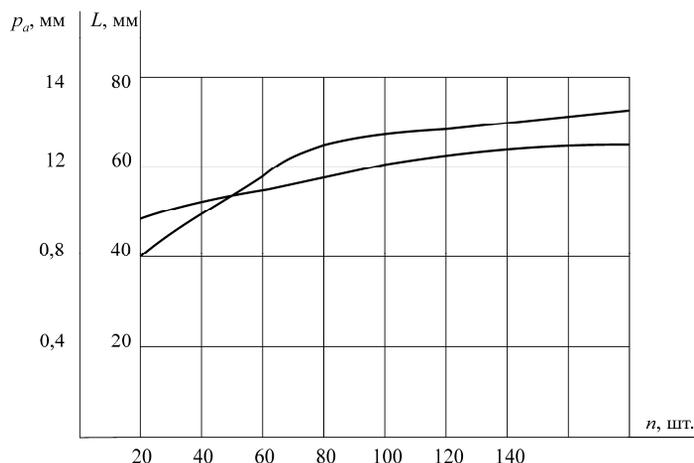


Рис. 2. Экспериментальные зависимости радиуса при вершине алмазного правящего инструмента  $p_a$  и осевого износа  $L$  от числа проходов при правке  $n$

Существенным параметром регулярного микрорельефа является величина радиуса закругления микронеровностей  $r$ , который зависит от времени суперфиниширования  $t_c$  и получаемой на операции шлифования шероховатости.

С увеличением времени обработки  $t_c$  от 1 до 12 с радиус закругления увеличивается соответственно с 45 до 400 мкм. При меньших значениях параметра  $Ra_{ш}$  обработанной поверхности величина радиуса  $r$  больше, чем при больших значениях  $Ra_{ш}$  после суперфиниширования в течение одинакового времени (рис. 3).

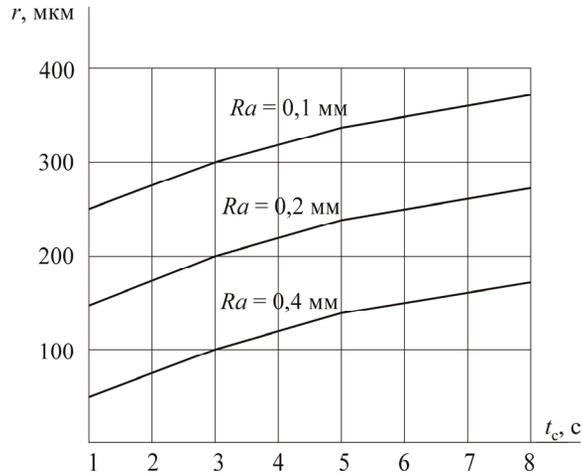


Рис. 3. Экспериментальные зависимости радиуса закругления вершин микронеровностей регулярного микрорельефа от времени суперфиниширования при различных значениях параметра  $Ra$

Важными характеристиками для дорожек качения, влияющими на эксплуатационные свойства подшипников, являются отклонения от круглости и волнистость. На рис. 4 мы видим, что эти показатели зависят от времени обработки на этапе суперфиниширования. После 6 с обработки отклонение от круглости колец подшипников, имеющих на дорожке качения регулярный микрорельеф, равно 0,3–0,5 мкм, волнистость  $W_z = 0,1 \dots 0,2$  мкм, что соответствует требованиям, предъявляемым к кольцам подшипников.

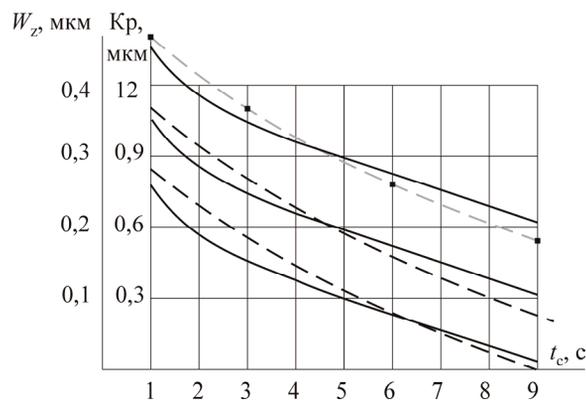


Рис. 4. Экспериментальные зависимости точности геометрической формы колец от точности суперфиниширования при различной шероховатости шлифованной поверхности;  $K_p$  – отклонение от круглости

Существенным технологическим фактором, влияющим на качественные характеристики обрабатываемой поверхности при суперфинишировании, является время обработки. Из полученных зависимостей, представленных на рис. 5, мы видим, что наибольшее уменьшение высоты микронеровностей происходит в первые 5–6 с, а дальнейшее увеличение времени обработки не приводит к заметному уменьшению высоты микронеровностей. Величина параметра  $Ra$  после 5–6 с обработки практически не зависит от шероховатости, полученной на операции шлифования. Это можно объяснить тем, что в течение первых секунд работы мелкозернистые бруски шартажируются и их режущая способность резко уменьшается. Учитывая то, что при суперфинишировании деталей с регулярным микрорельефом величины снимаемых припусков небольшие, рекомендуется вести обработку в течение 5–6 с. Параметр  $Ra$  после 6 с обработки также стабилизируется, и дальнейшая обработка является нецелесообразной.

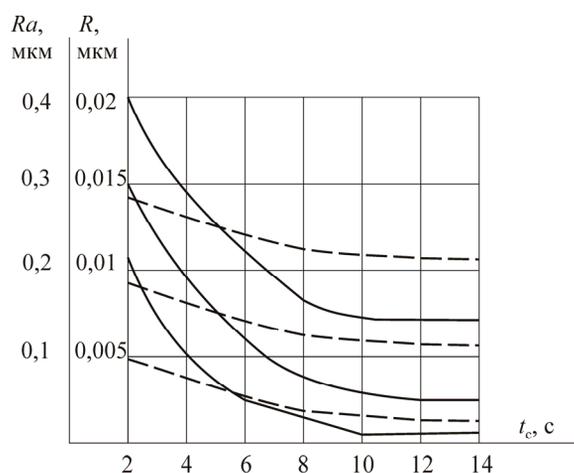


Рис. 5. Экспериментальные зависимости среднего арифметического отклонения профиля  $Ra$  и среднего квадратичного отклонения высот микронеровностей от времени суперфиниширования при различной шероховатости шлифованной поверхности

Для абразивной доводки колец подшипников использовался метод многобрускового суперфиниширования, разработанный на кафедре «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета под руководством профессора А.В. Королева.

Проведенные испытания подшипников, имеющих на желобах внутренних колец регулярный микрорельеф, показали повышенные эксплуатационные свойства: снижение момента трения на 40 %, снижение уровня вибрации на частотах до 1000 Гц на 6–10 дБ, увеличение фактической площадки контакта шара и дорожек качения и за счет этого – уменьшение напряжения на 8–16 %, увеличение фактической долговечности в 1,36–1,73 раза.

По результатам проведенных экспериментов по суперфинишированию деталей с регулярным микрорельефом поверхности, полученным на операции шлифования, можно сделать вывод о том, что применение в качестве абразивной доводки многобрускового суперфиниширования целесообразно.

### **Список литературы**

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 392 с.
2. Малышев В.И., Мурашкин С.В. Особенности правки шлифовальных кругов с ультразвуковыми колебаниями правящего инструмента // Вектор науки ТГУ. – 2009. – № 1. – С. 24–31.
3. Любимов В.В., Могильников В.А., Чмир М.Я. Комбинированные методы алмазного шлифования: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 100 с.
4. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. – М.: Машиностроение, 1988. – 383 с.
5. Лоскутов В.В. Шлифование металлов. – 4-е изд., перераб. – М.; Свердловск: Машгиз, 1962. – 280 с.
6. Маслов В.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
7. Мишнаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 192 с.
8. Гущин А.Ф. Влияние геометрических параметров регулярного микрорельефа дорожек качения подшипников на размеры площадки контакта желоба и шара // Чистовая обработка деталей машин. – Саратов, 1985. – С. 12–14.
9. Гущин А.Ф., Бабенко М.Г. Исследования влияния технологических режимов процесса абразивной доводки на геометрические па-

раметры регулярного микрорельефа дорожек качения подшипников и геометрическая точность обработанных поверхностей // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. ст. – Саратов, 2005. – С. 3–13.

10. Бабенко М.Г., Гушин А.Ф. Экспериментальные исследования стойкости рабочей поверхности шлифовального круга и правящего алмазного инструмента // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. ст. – Саратов, 2004. – С. 2–6.

### References

1. Reznikov A.N. *Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov: spravocnik* [Abrasive and diamond processing of materials: a Handbook]. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 392 p.

2. Malyshev V.I., Murashkin S.V. *Osobennosti pravki shlifoval'nykh krugov s ul'trazvukovymi kolebaniiami praviashchego instrumenta* [Features of grinding wheel with ultrasonic vibrations of the governing instrument]. *Vektor nauki Tol'iattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 1, pp. 24-31.

3. Liubimov V.V., Mogil'nikov V.A., Chmir M.Ia. *Kombinirovannye metody almaznogo shlifovaniia : uchebnoe posobie* [Combined methods of diamond grinding: a tutorial]. Tula: Izdatel'stvo Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2007. 100 p.

4. Orlov P.N. *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detalei metodami dovodki* [Technological quality assurance of parts finishing methods]. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 383 p.

5. Loskutov V.V. *Shlifovanie metallov* [Grinding of metals]. Moscow: Sverdlovsk, Mashgiz, 1962. 280 p.

6. Maslov V.N. *Teoriia shlifovaniia materialov* [The theory of grinding materials]. Moscow: Mashinostroenie, 1974. 320 p.

7. Mishnaevskii L.L. *Iznos shlifoval'nykh krugov* [Wear of grinding wheels]. Kiev: Naukova dumka, 1982. 192 p.

8. Gushchin A.F. *Vliianie geometricheskikh parametrov reguliarnogo mikrorel'efa dorozhek kacheniiia podshipnikov na razmery ploshchadki kontakta zheloba i shara* [The influence of geometrical parameters of the regular microrelief of bearing raceways on the size of contact area between the gut-

ter and the ball]. *Chistovaia obrabotka detalei mashin*. Saratovskii politekhnicheskii universitet, 1985, pp. 12-14.

9. Gushchin A.F., Babenko M.G. Issledovaniia vliianiia tekhnologicheskikh rezhimov protsessa abrazivnoi dovodki na geometricheskie parametry reguliarnogo mikrorel'efa dorozhek kacheniiia podshipnikov i geometricheskaia tochnost' obrabotannykh poverkhnostei [Research of influence of technological modes of process abrasive finishing on the geometrical parameters of the regular microrelief of bearing raceways and geometrical accuracy of the machined surfaces]. *Progressivnye napravleniia razvitiia tekhnologii mashinostroeniia*. Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2005, pp. 3-13.

10. Babenko M.G., Gushchin A.F. Eksperimental'nye issledovaniia stoikosti rabochei poverkhnosti shlifoval'nogo kruga i praviashchego almaznogo instrumenta [Experimental study of the resistance of the working surface of the grinding wheel and dressing diamond tool]. *Progressivnye napravleniia razvitiia tekhnologii mashinostroeniia*. Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2004, pp. 2-6.

Получено 06.05.2015

**Богачев Юрий Юрьевич** (Саратов, Россия) – студент, Институт электронной техники и машиностроения Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

**Бабенко Марина Геннадиевна** (Саратов, Россия) – научный руководитель, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.; e-mail: babenkomg@mail.ru.

**Bogachev Yuri** (Saratov, Russian Federation) – Student, Institute of Electronics and Mechanical Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

**Babenko Marina** (Saratov, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department “Engineering of Technical and Technological Complexes”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; e-mail: babenkomg@mail.ru.